Zur Druckabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Metalle bei tiefen Temperaturen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt von der Philosophischen Fakultät

der Friedrich-Wilhelms-Universität

zu Berlin

Von

Ulrich Fischer

aus Malchin in Mecklenburg

Tag der Promotion: 4. Juni 1930

Tag der mündlichen Prüfung: 1. März 1928

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.

Leipzig 1930

329

Referenten: Professor Dr. M. Bodenstein
Professor Dr. W. Nernst

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus der „Zeitschrift für physikalische Chemie“, Abteilung B,
Band 8, Seite 207—217.

Die Temperaturabhängigkeit des Druckeinflusses auf die elektrische Leitfähigkeit der Metalle ist wesentlich bedingt durch die Art und Weise, wie die elektrische Leitfähigkeit mit der charakteristischen Temperatur nach DEBYE (Θ) gekoppelt ist. Da der temperaturveränderliche Teil dieser Abhängigkeit nach der GRÜNEISENschen Formel proportional der spezifischen Wärme gehen soll und diese Formel den wahren Verhältnissen jedenfalls sehr nahe kommt, so bedeutet dies, dass die Druckabhängigkeit bei tiefen Temperaturen stark anwachsen muss: bei hohen Temperaturen nämlich, d. h. im Gebiet des DULONG-PETITschen Gesetzes, beeinflusst das durch hydrostatischen Druck vergrösserte Θ die spezifische Wärme gar nicht, bei tiefen Temperaturen dagegen sehr stark. Es ist daher zu erwarten, dass man aus derartigen Messungen neues Material für die Theorie der elektrischen Leitfähigkeit erhalten kann. Als einzige Messungen liegen bisher die von KAMERLINGH-ONNES[1]) und BECKMANN vor. Diese fanden, dass der Druckkoeffizient des Bleies zwar bis zur Temperatur der flüssigen Luft in Übereinstimmung mit der oben erwähnten Angabe stark zunimmt, von dort an bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs aber wieder kleiner wird. Da dieser Befund mit keiner der bisherigen Theorien über die elektrische Leitfähigkeit in Übereinstimmung zu bringen ist, haben wir zur Kontrolle und zur Beibringung weiteren Materials die Druckabhängigkeit einer Reihe von Metallen bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs untersucht.

Die Versuchsanordnung war kurz skizziert folgende: Von den Metallen wurden zwei Proben in Drahtform in einem Kältebad an-

[1]) KAMERLINGH-ONNES und BECKMANN, Comm. Leiden **132**b. 1912.

gebracht. Die eine Probe befand sich innerhalb eines Druckgefässes, in das von aussen her Gas unter hohem Druck hineingeleitet werden konnte. Die durch den Druck hervorgerufene Änderung des Widerstandsverhältnisses der beiden Proben wurde in einer WHEATSTONEschen Brückenanordnung gemessen. Als Gas wurde Luft oder bei tieferen Temperaturen Wasserstoff benutzt, der sich natürlich kondensierte, wenn als Aussenbad flüssiger Wasserstoff verwendet wurde.

Versuchsanordnung (Fig. 1 und 2).

Die Versuchsanordnung war im Einzelnen folgende: Der zu untersuchende Draht befand sich auf eine Spule gewickelt in einem zylindrischen Hohlraum A von 8 mm Durchmesser und etwa 42 mm Länge, der in einen Sechskantmessingstab von 25 mm kleinstem Durchmesser gebohrt war. Als Verschluss dieses Druckgefässes, das leer etwas über 2 cm^3 fasste, diente eine Stahlschraube mit starkem Gewinde, an die sich unten ein glatter Konus von etwa 45° Steigung anschloss, der sich beim Anziehen der Schraube fest gegen den entsprechend geformten glatten Messingrand des Druckgefässes presste. Da die thermische Kontraktion des Messings bei sinkender Temperatur grösser als die des Stahls ist, wurde auch bei tiefsten Temperaturen eine absolute Dichtung erzielt.

Im oberen Ende dieses Druckgefässes A war eine 36 cm lange Neusilberröhre von 2 mm innerem Durchmesser und 1 mm Wandstärke eingepresst und -gelötet, die die drei Zuführungsdrähte aufnahm. Dieses dünne Neusilberrohr hatte eine geringe Wärmeleitfähigkeit, so dass nur minimale Verluste der Kälteflüssigkeit auftraten. Am oberen Ende dieses Rohres befand sich das Verschlussstück B. Es diente dazu, die drei Zuführungsdrähte der Spule aus dem Druckraum ins Freie zu führen. Dies geschah durch eine aufgeschraubte Mutter, die in einem sich nach aussen stark verjüngenden glatten Konus einen genau passenden Konus aus Vulkanfiber enthielt, durch den in engen Bohrungen die drei blanken kupfernen Zuleitungsdrähte gezogen waren. Die Dichtung wurde nötigenfalls durch etwas dickflüssigen Bakelit vervollkommnet.

In dieses Verschlussstück mündete seitwärts die von einer Druckbombe herkommende Druckleitung, ein längeres Kupferrohr von 5·8 mm äusserem und 1·6 mm innerem Durchmesser. Auf einer Strecke von 50 cm war dieses Druckrohr zu einer feinen Kapillare von 0·35 mm innerem Durchmesser ausgezogen, um ein allzu heftiges Ausströmen

des zum Drücken benutzten Gases, namentlich auch bei einem etwaigen Platzen der Apparatur, zu verhindern. Zur Druckmessung benutzten wir ein Manometer der Firma Schäffer & Budenberg, Magdeburg. Es reichte von 0 bis 400 kg/cm² bei einer Skaleneinheit von 2 kg/cm² auf dem sich halbe kg/cm² noch gut schätzen liessen.

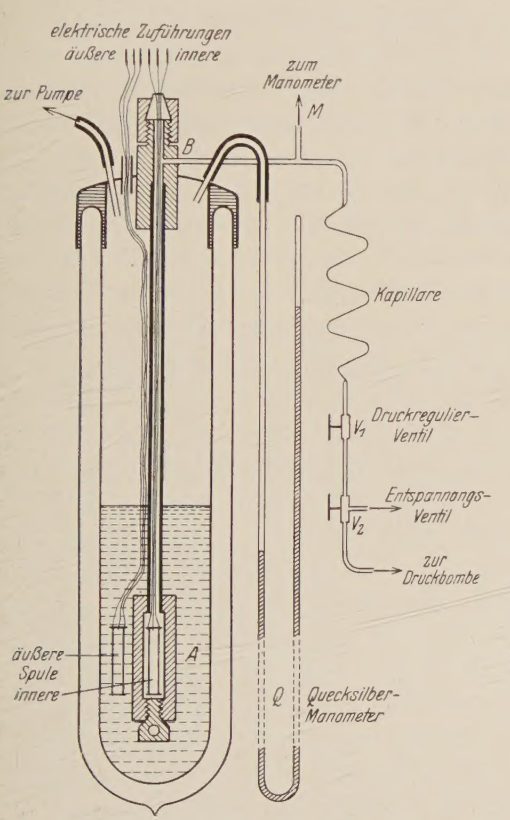

Fig. 1.

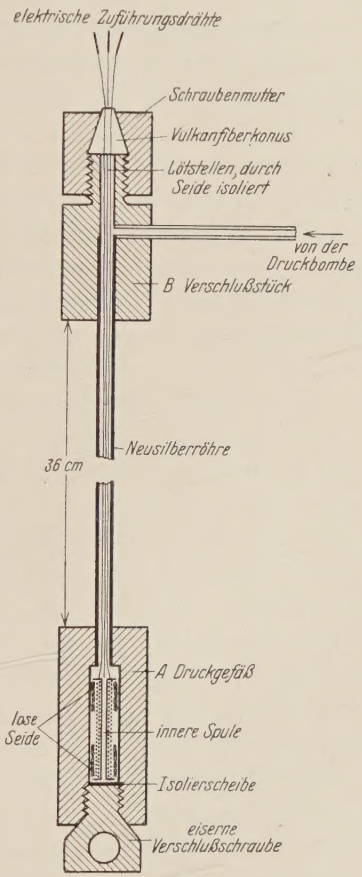

Fig. 2.

Ein eingehender Vergleich dieses Manometers mit einem im Institut als zuverlässig erwiesenen zweiten Instrument ergab bei steigenden und fallenden Drucken grosse Genauigkeit. Elastische Nachwirkung und etwaiger toter Gang liessen sich nicht nachweisen. Ein anderes Manometer geringerer Genauigkeit wurde an die Druckleitung kurz vor dem Druckgefäss angeschlossen, um eventuelle Verstopfungen

der Kapillare schnell erkennen zu können. Bei den Ablesungen war es ausgeschaltet.

Das zum Drücken verwendete Gas wurde auf bequeme Weise Druckbomben entnommen. Durch die dadurch gegebenen Maximalwerte von etwa 150 kg/cm² wurden Widerstandsänderungen erzeugt, die zur Messung vollkommen genügten.

Die Regelung des Druckes und die Entspannung bis auf 1 Atm. geschah durch ein in die Druckleitung eingelötetes Ventil V_1 und ein zweites Ventil V_2, das mit der Aussenluft kommunizierte.

An das Verschlussstück B war aussen eine Messingblechklappe luftdicht angelötet, die auf den oberen Rand eines DEWAR-Gefässes passte, so dass man durch Abpumpen die Temperatur noch weiter erniedrigen konnte. Die Widerstandsänderung wurde in einer WHEATSTONEschen Brückenschaltung gemessen. Die Anordnung wurde so gewählt, dass sich Widerstandsänderungen von 10^{-5} des Wertes leicht beobachten liessen.

Gang der Messungen.

Der Gang der Untersuchungen war folgender. Das Druckgefäss mit der inneren Spule W_i und die ausserhalb des Druckgefässes in gleicher Höhe befestigte Spule w_a wurden auf die konstante Versuchstemperatur abgekühlt. Temperaturkonstanz war etwa nach 30 bis 40 Minuten eingetreten. Eine ungerade Anzahl von Malen wurde dann das Verhältnis der Widerstände gemessen, wobei der Strom jedesmal kommutiert wurde. Dann wurde Druck auf die innere Spule gegeben. Nach Abgabe der Kompressions- und etwaiger Kondensationswärme war die Temperatur bei Flüssigkeitsbädern nach etwa 20 Minuten, im Kohlensäurebad nach etwa 60 Minuten ausgeglichen. Erneut wurde das nunmehr veränderte Verhältnis $w_i : w_a$ einige Male gemessen. Dann wurde die ganze Apparatur auf 1 Atm. entspannt, aufs neue $w_i : w_a$ gemessen und so weiter abwechselnd unter Druck und entspannt. Zwischendurch und am Ende einer Messreihe wurde der Absolutwiderstand von w_i und w_a sowie der Widerstand der Zuleitung genau gemessen. Es zeigte sich, dass frisch hergestellte Spulen erst nach einiger Zeit konstante Widerstände annahmen.

Das untersuchte Material.

Untersucht wurden Drähte aus Blei, Wolfram, Molybdän, Kupfer und Eisen, von den Legierungen Konstantan. Die Drahtdurchmesser schwankten zwischen 0·013 und 0·05 mm.

Die Drähte wurden bifilar auf dünne, in den Druckraum passende paraffinierte hohle Spulen aus Zink gewickelt. Eine Änderung des spezifischen Widerstands durch das Wickeln wurde nicht bemerkt. Die Wicklung war ziemlich lose, so dass Spannungszustände des spiralig in weicher Seide gelagerten Drahtes durch thermische Kontraktion nicht zu befürchten waren. Weiterer Halt wurde den Spulen durch lose Umwicklung mit trockenen Kokonfäden gegeben. Die Lötstellen (gewöhnliches Weichlot) wurden gut isoliert und in grösstmögliche gegenseitige Nähe gebracht.

Als erstes Metall wurde Blei untersucht, weil es den grössten bisher gemessenen Druckkoeffizienten des elektrischen Widerstands besitzt, und weil es sich als gegen Verunreinigungen sehr unempfindlich erwiesen hat, wohl weil es mit den verunreinigenden Elementen keine Mischkristalle bildet. Die Verunreinigung macht sich nur durch rein additive Zusatzwiderstände bemerkbar. Ein gewisser Nachteil besteht darin, dass Blei einen kleinen Θ-Wert ($\Theta = 88$) hat, dass wir uns also erst bei tiefen Temperaturen im T^3-Gebiet befinden. Etwas schwierig war es auch wegen der geringen Festigkeit des Bleies, genügend grosse Widerstände, die in dem kleinen Druckraum unterzubringen waren, herzustellen. Es gelang in der Weise, dass Blei, wie es auch früher schon im Institut üblich war, bis dicht unterhalb seines Schmelzpunktes in einem Stahlzylinder erhitzt, mittels eines passenden Stempels durch eine im Vorderende des Zylinders befindliche enge Stahldüse durch gleichmässigen Druck in dünnem Faden herausgepresst wurde. Der Draht wurde in einer besonderen (von Herrn Lange konstruierten) Spulmaschine sorgfältig mit dünner reiner Tramaseide dicht umsponnen. Schlecht isolierte Stellen waren sofort zu erkennen und wurden nicht benutzt. Zum Schutze gegen das Zerreissen des Bleidrahtes wurde ein dünner Zwirnfaden mit eingesponnen, der die mechanischen Spannungen aufnahm. Von einer Isolierung des Drahtes durch Lack, Bakelit oder ähnliches musste Abstand genommen werden, weil Spannungen im Draht durch thermische Kontraktion bei tiefen Temperaturen auftreten konnten. Auch auf die Vermeidung einer Zerstörung des Drahtes durch Oxydation musste geachtet werden. Liegen an der Luft von der Dauer eines Tages hatte keine schädlichen Folgen. Für die Messung der Widerstandsänderung des Drahtes durch Druck hätte Oxydation kaum Bedeutung gehabt, da immer nur das Verhältnis des Widerstands von gepresstem und ungepresstem Draht gemessen wurde, überdies die Änderung des Widerstands durch

schon gut sichtbare Oxydation, die nach mehreren Tagen bemerkbar wurde, kleiner als $1^0/_{00}$ war.

Das verwendete Blei war Blei „Kahlbaum" von hoher Reinheit, wie sich aus den $\frac{W}{W_0}$-Werten bei tiefen Temperaturen ergab.

Der Durchmesser des zuerst gemessenen Drahtes I war etwa 0·04 mm, der des später verwendeten Drahtes II 0·05 bis 0·06 mm. Das Blei hatte eine Länge von 3 m und bei Eistemperatur einen Widerstand von 419 Ohm. Der Zuleitungswiderstand betrug etwa $1^0/_{00}$.

Der Wolframdraht, aus reinstem Wolfram, den die Deutsche Gasglühlicht Auer G. m. b. H. freundlichst zur Verfügung gestellt hatte, hatte einen Durchmesser von 0·0113 mm; Spule I war etwa 3 m, Spule II und III $3^1/_2$ m lang (Widerstand von I 1600, II 1900, III 1875 Ohm).

Das Molybdän hatte ebenfalls die Deutsche Gasglühlicht Auer G. m. b. H. zur Verfügung gestellt. Der Drahtdurchmesser war 0·031 bis 0·014 mm. Die Spule hatte bei 180 cm Länge einen Widerstand von 550 Ohm bei 0° C.

Das Kupfer war von der Firma Vogel, Adlershof, bezogen als „Elektrolytkupfer" und war nicht sehr rein, wie sich aus dem Widerstandsverhältnis $\frac{W}{W_0}$ ergibt. Der Durchmesser betrug 0·025 mm. Die erste Spule hatte 30 m Länge und 1830 Ohm, die zweite Spule etwa 29 m und 1770 Ohm.

Der Eisendraht war „Haardraht" von Hartmann & Braun von geringer Reinheit, wie das sehr ungünstige Widerstandsverhältnis $\frac{W}{W_0} = 0{\cdot}2999$ bei 81° abs. zeigt. Der Durchmesser war 0·0179 mm, die Länge etwa 2 m, der Widerstand etwa 600 Ohm.

Bei Konstantan, „Haardraht" von Hartmann & Braun, hatte die Spule einen Durchmesser von 0·0265 mm und bei einer Länge von 150 cm etwa 1100 Ohm Widerstand.

Das Befestigen der Drahtenden an den Zuführungsdrähten mittels gewöhnlichen Weichlots machte keine Schwierigkeiten, ausser bei Wolfram und Molybdän, wo sich der spiralig um den Kupferdraht gewundene und mit Lot überzogene Draht, namentlich in tiefen Temperaturen, bald löste. Daher wurden die Enden dieser Drähte auf mehr als 1 cm Länge in sehr dünne frisch gezogene Kupferkapillaren gesteckt, die an mehreren Stellen mit einer Zange zusammengekniffen

und schwach wellenförmig gebogen wurden. Scharfe Knicke wurden vermieden. An die Kapillaren wurden dann die Zuleitungen gelötet.

Als Beispiel sei eine Messung von Blei bei 81° abs. angeführt.

$$-\frac{1}{w}\frac{dw}{dp}\cdot 10^7 = +143{\cdot}_2;\ 143{\cdot}_9;\ 143{\cdot}_4;\ 143{\cdot}_6;\ 143{\cdot}_8;\ 143{\cdot}_5.$$

Jede einzelne Ablesung dauerte, wie erwähnt, $^1/_2$ Stunde. Man sieht, dass die Werte sich recht konstant ergeben. Es sei jedoch erwähnt, dass die Messungen nicht in allen Fällen so genau sind, wie im Falle des Bleies, das einen sehr hohen Druckkoeffizienten besitzt (etwa eine Zehnerpotenz grösser als bei den anderen Metallen).

Ergebnisse der Messungen.

In den folgenden Tabellen ist in der ersten Spalte die Temperatur angegeben, bei der gemessen wurde; in der zweiten Spalte der gemessene, mit einer Zehnerpotenz multiplizierte Druckkoeffizient $-\frac{1}{w}\cdot\frac{dw}{dp}$. Die folgende Spalte gibt in Klammern die Anzahl der Beobachtungen an.

Tabelle 1. Blei.

T abs.	Spule I		Spule II	
	beob. $\cdot 10^6$	Anzahl der Beob.	beob. $\cdot 10^6$	Anzahl der Beob.
273·1	14·2	(47)	14·1	(11)
(198)	(14·3)	(25)	(14·2)	(13)
88	14·3	(12)	14·25	(11)
81	14·3	(39)	14·27	(24)
78	14·4	(12)	14·34	(13)
20·3	22·4	(18)	23·2—23·7	(25)
15	31·6—33·2	(9)		

Tabelle 2. Wolfram.

T abs.	Spule I		Spule II		Spule III	
	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.	beob. $\cdot 10^6$	Anzahl der Beob.	beob. $\cdot 10^6$	Anzahl der Beob.
288	15·9	(39)	15·0	(37)	14·9	(14)
273·1	15·5	(41)	15·3	(40)	15·3	(23)
(198)	(17·3)	(56)	(19·1)	(55)	(19·6)	(21)
88	28·0	(7)	29·5	(68)	—	—
81	28·3	(69)	33·3	(12)	28·6	(39)
78	—	—	33·6	(5)		
20·3	49·5	(18)	53·4	(13)		

Tabelle 3. Molybdän.

T abs.	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.
286·2	13·4	(17)
273·1	13·5	(23)
(198)	15·0	(11)
81	26·9	(17)
20·3	41·4—49	(9)

Tabelle 4. Eisen.

T abs.	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.
273·1	21·6	(17)
(198)	23·7	(15)
81	34·4	(21)

Tabelle 5. Kupfer.

T abs.	Spule I		Spule II	
	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.
287·3	17·1	(10)	17·2	(10)
273·1	17·3	(13)	17·4	(40)
(198)	(19·8)	(19)	(19·5)	(49)
88	33·1	(37)	35·2	(21)
81	34·3	(6)	36·7	(51)
78	(37·6)	(11)	38·1	(5)

Tabelle 6. Konstantan.

T abs.	beob. $\cdot 10^7$	Anzahl der Beob.
273·1	7·6	(13)
(198)	(4·7)	(11)
81	5·2	(18)
20·3	6·6	(15)

Fehlerquellen und -grenzen.

Der Fehler der elektrischen Messungen dürfte etwa $1\,^0/_{00}$ betragen, der des hydrostatischen Druckes etwa $^1/_2\,\%$.

Eine Beeinflussung der Messresultate dadurch, dass sich der zum Drücken benutzte Wasserstoff in den untersuchten Metallen löste, war nicht nachweisbar. Wir fanden z. B., dass es keinen Unterschied ausmachte, ob wir Luft oder Wasserstoff zum Drücken verwendeten.

Die Hauptfehlerquelle ist die mangelnde Konstanz der Temperatur. Wie gross der Temperatureinfluss im Verhältnis zum Druckeinfluss ist, ersieht man daraus, dass 1° Temperaturerniedrigung bei Zimmertemperatur dieselbe Leitfähigkeitserhöhung hervorruft, wie bei Blei eine Druckerhöhung von 1 auf etwa 290 kg/cm², bei Wolfram

auf 3000 kg/cm², bei Molybdän auf 3100 kg/cm², bei Kupfer auf 2100 kg/cm² und bei Eisen auf 2600 kg/cm². Genügende Temperaturkonstanz war erst eingetreten nach 15 bis 30 Minuten, wenn die Kompressions- und etwaige Kondensationswärme vom Bad aufgenommen war. Bei fester Kohlensäure oder Kohlensäure-Äthergemischen als Badflüssigkeit trat Konstanz erst nach 60 Minuten ein oder war bisweilen überhaupt nicht zu erreichen. Die bei 198° abs. erhaltenen Zahlen sind also nur bedingt verwertbar und daher in den Tabellen eingeklammert.

Ebenso ist bei den wenigen Messungen, die mit abgepumpten Bädern ausgeführt wurden, die Genauigkeit geringer, da sich der Abpumpdruck nicht so genau konstant halten lässt.

Im ganzen glauben wir mit einem Fehler der Einzelmessung von maximal 10% und des Mittelwerts von höchstens 5% rechnen zu können.

Diskussion der Versuchsergebnisse.

Zum Vergleich mit den bisherigen Messungen, die von BRIDGMAN, alle nur bei Eistemperatur, vorgenommen worden sind, diene folgende Tabelle für $-10^7 \frac{1}{w}\frac{dw}{dp}$.

	Pb	*W*	*Mo*	*Cu*	*Fe*	Konstantan
BRIDGMAN	144	14·3	13·3	20·1	24·1	
Diese Arbeit . .	141—142	15·2—15·9	13·5	17·3	21·6	7·61

Die Übereinstimmung ist, wie man sieht, befriedigend. Die Differenzen dürften bedingt sein durch die Verschiedenheit des Materials, möglicherweise auch durch unsere geringere Messgenauigkeit. Uns kommt es ja nur auf eine leichte Messung des Druckkoeffizienten in grossen Temperaturintervallen an und auf den Verfolg der zu erwartenden grossen Änderung in tiefen Temperaturen, und nicht auf Präzisionsmessungen bei einer Temperatur, wie sie z. B. von BRIDGMAN mit weit grösserer Genauigkeit vorgenommen worden sind.

Wir sehen, dass bei allen reinen Metallen die Druckabhängigkeit des Widerstands stark mit fallender Temperatur zunimmt, und zwar im Gegensatz zu den erwähnten Messungen von KAMERLINGH-ONNES und BECKMANN, die wohl durch einen unbekannten Fehler entstellt sind, dauernd bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs. Die Zu-

nahme setzt, wie zu erwarten, bei um so höheren Temperaturen ein, je höher die charakteristische Temperatur der Substanz ist, wie man aus Fig. 3 ersieht. Dort ist der Druckkoeffizient als Funktion der Temperatur aufgetragen, wobei der Wert bei 0° C willkürlich gleich 1 gesetzt wurde. Blei mit einer Θ von 88 steigt erst unterhalb der Temperatur der flüssigen Luft merklich an, die anderen Metalle dagegen, deren Θ nahe an 300 liegen, zeigen schon beim Eispunkt eine merkliche Temperaturabhängigkeit. (Eisen wurde

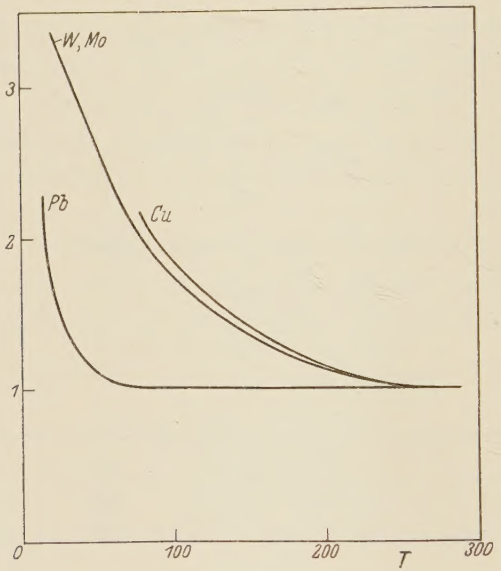

Fig. 3.

wegen der geringen Reinheit der Probe nicht mit in die Figur aufgenommen.) Die Änderung des Druckkoeffizienten ist recht beträchtlich; so geht er z. B. beim Molybdän bei 20° abs. fast auf das Vierfache des Wertes bei gewöhnlicher Temperatur. Auf die theoretische Deutung dieser Ergebnisse an Hand der neueren Theorien der elektrischen Leitfähigkeit wird Herr Prof. Simon demnächst zurückkommen.

Der Druckkoeffizient des Konstantans zeigt ein ganz anderes Verhalten. Er fällt zunächst ab, durchläuft bei etwa 145° abs. ein schwaches Minimum und erreicht bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs nahezu den gleichen Wert wie bei Zimmertemperatur.

Zusammenfassung.

1. Die Druckabhängigkeit des elektrischen Leitvermögens von Blei, Wolfram, Molybdän, Kupfer, Eisen und Konstantan wird bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs herab gemessen.

2. Der Druckkoeffizient des Widerstands nimmt mit fallender Temperatur stark zu, und zwar um so eher, je höher die charakteristische Temperatur der Substanz ist.

3. Beim Konstantan durchläuft der Druckkoeffizient ein Minimum bei ungefähr 145° abs.

Diese Arbeit wurde von Oktober 1924 bis April 1926 im Physikalisch-Chemischen Institut der Universität Berlin ausgeführt.

Herrn Professor Dr. Bodenstein danke ich für die freundliche Bereitstellung der Institutsmittel.

Herrn Professor Dr. Simon bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für ständige Unterstützung mit Rat und Tat während der Ausführung, zu grösstem Danke verpflichtet.

Lebenslauf.

Am 30. Juli 1895 wurde ich, Ulrich Fischer, in Malchin geboren als Sohn des Lehrers Karl Fischer und seiner Frau Luise, geb. Hannman. Von Ostern 1905 bis Ostern 1914 besuchte ich das Realgymnasium zu Malchin, das ich mit dem Zeugnis der Reife verließ. Sommersemester 1914 studierte ich in Rostock neuere Philologie. Anfang 1914 trat ich als Freiwilliger ins Heer. Nach mehrfacher Verwundung wieder im Felde, geriet ich Ende 1915 in russische Kriegsgefangenschaft. Nach meiner Flucht aus Sibirien im Mai 1918 war ich als Kompagnieführer wieder im Felde bis zu meiner Entlassung Dezember 1918. Ich studierte darauf beschreibende Naturwissenschaften, Mathematik und Physik zwei weitere Semester in Rostock, vier in München. Im Sommersemester 1921 nahm ich das Studium der Mathematik, Physik und Chemie in Berlin wieder auf. Winter 1921/22 war ich in der Zuckerfabrik Wegeleben als Betriebschemiker angestellt, nachdem ich vorher die Kurse des Instituts für Zuckerindustrie besucht hatte. Von Oktober 1924 bis April 1926 arbeitete ich an einer Doktorarbeit im Physikalisch-Chemischen Institut der Universität.

Meine akademischen Lehrer, denen ich an dieser Stelle danke, waren die Herren Bennewitz, Bodenstein, Byk, Dessoir, Eggert, Einstein, Graetz, Grotrian, Grüneisen, Köhler, v. Laue, Maier, v. Mises, Nernst, Planck, Pringsheim, Rubens, Simon, Sommerfeld, Stumpff.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.